

Monitoramento da Energia em Ensaios SPT Realizados no Estado do Rio de Janeiro

Christian Matos de Santana

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, Aracaju/SE, Brasil,
christianmatoss@poli.ufrj.br

Fernando Artur Brasil Danziger

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, danziger@coc.ufrj.br

RESUMO: Nesse trabalho são apresentados resultados do monitoramento de dois SPTs, realizados pela mesma equipe de sondagem, no Campo Experimental de Sarapuí II (Duque de Caxias/RJ), com um total de 373 golpes aplicados. Nesses golpes foram medidas altura de queda e velocidade de impacto do martelo SPT, além de energia no topo da composição de hastes. Desse modo, foi possível conhecer as perdas de energia no ensaio SPT, nas diversas etapas da sua transmissão, desde a soltura do martelo até a energia atingir o topo da composição de hastes. Cabe salientar que durante o monitoramento de energia evitou-se ao máximo interferir na rotina dos ensaios. Outro aspecto que recebeu especial atenção foi a catalogação de equipamentos e procedimentos utilizados nos ensaios, na tentativa de associá-los às variações de energia. Os resultados encontrados mostram significativa dispersão, com alturas de queda variando de 67 a 87 cm e energias no topo da composição de hastes variando de 67% a 115% da energia padrão do sistema SPT brasileiro, o que demonstra que mesmo ensaios SPT realizados pela mesma equipe de sondagem, em condições semelhantes, podem conduzir a valores de N_{SPT} com significados distintos.

PALAVRAS-CHAVE: SPT, Energia, Monitoramento.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Campanella e Sy (1994), apesar dos problemas associados à confiabilidade e à repetibilidade, o SPT (Standard Penetration Test – Ensaio de Penetração Padrão) continua a ser o ensaio de campo mais utilizado para projetos de fundações, avaliação do potencial de liquefação e controle de compactação de areias e siltes arenosos.

Diversos autores associam a ampla disseminação do ensaio à sua simplicidade de execução, robustez dos equipamentos e baixo custo operacional (e.g., Broms e Flodin 1988, Décourt 1989, Belincanta 1998, Cavalcante 2002).

Entretanto, é frequente a realização do SPT com equipamentos e procedimentos diferentes dos prescritos pelas normas. Outro problema é que, apesar de existir uma referência

internacional para a realização do SPT (ISSMFE, 1989), as normas do ensaio variam entre diferentes países, o que faz com que o significado do ensaio dependa dos equipamentos e práticas adotados.

A fim de uniformizar o significado do N_{SPT} , a energia efetivamente transferida à composição de hastes (E_i) passou a ser estudada no início da década de 70, a partir, principalmente, dos trabalhos de De Melo (1971), Schmertmann (1976), Palacios (1977) e Schmertmann e Palacios (1979). Esses estudos foram suficientes para estimular outros pesquisadores envolvidos com os ensaios *in situ* a dar continuidade ao entendimento cada vez mais racional da dinâmica do SPT (e.g., Ireland et al., 1970; De Mello, 1971; Serota e Lowther, 1973; Kovacs et al., 1977, 1978; Palacios, 1977; Schmertmann e Palacios, 1979; Kovacs, 1979, 1980, 1994; Kovacs e Salomone, 1982; Skempton, 1986;

Décourt et al., 1988; Tokimatsu, 1988; Décourt, 1989; Clayton, 1990; Matsumoto et al., 1992; Morgano e Liang, 1992; Abou-Matar e Goble, 1997; Belincanta, 1998; Belincanta e Cintra, 1998; Fujita e Ohno, 2000; Cavalcante, 2002; Odebrecht, 2003; Daniel et al., 2005; Youd et al., 2008; Santana et al., 2012; Santana et al., 2014). Assim, a medição da energia se transformou numa ferramenta auxiliar na explicação da influência de vários fatores nos resultados do ensaio, tornando o SPT mais confiável no meio geotécnico.

Schmertmann e Palacios (1979) mostraram que o valor do N_{SPT} é inversamente proporcional à energia que efetivamente atinge a composição de hastes, pelo menos até valores de N_{SPT} de 50 golpes. Desse modo, a seguinte equação permite corrigir o valor do N_{SPT} em função da energia:

$$N_1.E_1 = N_2.E_2 \quad (1)$$

Sendo:

E_i = Energia medida no topo da composição de hastes;

N_i = Número de golpes para uma energia E_i .

A ISSMFE (1989) estabeleceu como energia de referência internacional 60% da energia potencial teórica internacional ($E^* = 474$ J, considerando altura de queda de 76 cm e peso do martelo de 63,5 kgf). Desse modo, $E_{60} = 0,60 \times 474$ J = 284,4 J. Assim, os resultados de um SPT com uma dada energia (E_i) podem ser convertidos para N_{60} através da seguinte equação:

$$N_{60} = N_{SPT} \frac{E_i}{E_{60}} \quad (2)$$

Segundo Décourt (1989), a energia no topo da composição de hastes (E_i), quando não medida, pode ser estimada através da seguinte equação:

$$E_i = e_1.e_2.e_3.E^* \quad (3)$$

O fator de eficiência e_1 relaciona a energia cinética imediatamente antes do impacto do martelo com a cabeça de bater (E_c) com a

energia potencial teórica (E^*). Esse fator é influenciado por perdas de energia no sistema de levantamento e soltura. O fator e_2 quantifica as perdas de energia durante o impacto entre o martelo e a cabeça de bater, sendo afetado principalmente pela massa da cabeça de bater. Seu valor é dado por E_i/E_c . O fator e_3 está relacionado com o comprimento da composição de hastes. Entretanto, diversos trabalhos (e.g., Cavalcante 2002, Odebrecht 2003, Daniel et al. 2005, Danziger et al. 2006) sugerem que o fator e_3 deva ser considerado igual a 1,0.

2 EQUIPAMENTOS

2.1 Câmera de alta velocidade

A altura de queda do martelo foi medida a partir dos registros de uma câmera filmadora de alta velocidade, capaz de armazenar imagens com até 1000 quadros por segundo (ver esquema de filmagem na Figura 1). Foi utilizada como referência uma mira estadimétrica.



Figura 1. Esquema do monitoramento do SPT.

A partir dessas imagens, também foi estimada a velocidade de impacto do martelo, construindo-se um gráfico de altura do martelo em função do tempo e obtendo-se a derivada da função na iminência do impacto. No ajuste do gráfico altura versus tempo foram utilizadas funções polinomiais de grau 2, que produziram excelente ajuste (ver Figura 2).

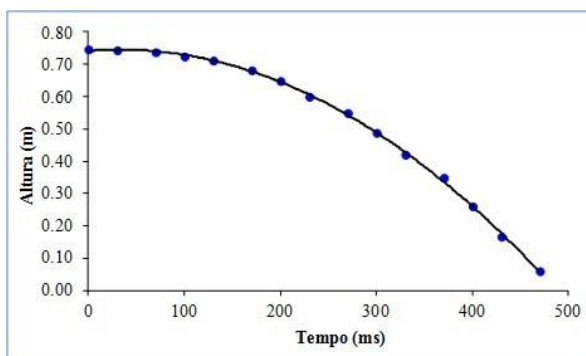


Figura 2. Gráfico de altura de queda do martelo em função do tempo.

2.2 SPT Analyzer

A energia na composição de hastes, na posição imediatamente abaixo da cabeça de bater, foi medida através da integração de registros de força e de velocidade, provenientes de medidores de deformação e acelerômetros, instalados nas hastes, que fazem parte do sistema SPT Analyzer (ver Figura 3).



Figura 3. Sistema de medição de energia na composição de hastes.

Para o monitoramento de força nas hastes, foram utilizados strain-gauges (medidores de deformação) elétricos, formados em pontes de Wheatstone, colados diretamente nas hastes. Já para o monitoramento de aceleração, foram utilizados acelerômetros piezoelétricos com resolução de 0,02 g, podendo registrar acelerações de até 5000 g, conforme mostrado na Figura 3. Através da integral da aceleração pelo tempo é possível calcular a velocidade da haste.

Assim, a energia na composição de hastes é

igual à integral da força (F) multiplicada pela velocidade (v) em função do tempo (t).

$$E = \int F \cdot v \cdot dt \quad (4)$$

3 ENSAIOS REALIZADOS

Foram monitorados dois SPTs, denominados neste trabalho de Sondagem 1 e Sondagem 2, realizados pela mesma equipe de sondagem, no Campo Experimental de Sarapuí II, localizado em Duque de Caxias/RJ, com um total de 373 golpes aplicados. Nesses golpes foram medidas altura de queda, velocidade de impacto do martelo SPT e energia no topo da composição de hastes.

O sistema de levantamento e soltura era manual (predominante no Brasil) e acionado por uma corda de sisal. O martelo era dotado de haste guia e coxim de madeira, ver Figura 4.



Figura 4. Equipamento utilizado nos ensaios realizados no Campo Experimental de Sarapuí II.

Foi registrado o uso de uma cabeça de bater com massa de 977 g nas duas sondagens. Cabe lembrar que a NBR-6484/2001 estabelece que a massa da cabeça de bater esteja entre 3,5 kg e 4,5 kg. Diversos estudos mostram que a redução da massa da cabeça de bater aumenta a energia transmitida à composição de hastes (e.g., Skempton, 1986, Décourt, 1989 e Belincanta e Cintra, 1998). Vale salientar que cabeças de bater com massas da ordem de 1,0 a 1,5 kg são frequentemente usadas no Brasil, segundo experiência dos autores.

4 RESULTADOS

As Tabelas 1 e 2 apresentam valores médios de altura de queda do martelo, velocidade de impacto e energias por sequência de golpes. Nas

três primeiras sequências de golpes da Sondagem 2 não foram realizadas filmagens, não sendo, portanto, possível a determinação da altura de queda e da velocidade de impacto para esse grupo de golpes.

Tabela 1. Energias medidas nos ensaios da Sondagem 1.

Sequência	N ¹	L ² (m)	h _q ³ (m)		v _i ⁶ (m/s)		E _p ⁷ (J)		E _c ⁸ (J)		E _i ⁹ (J)		E _p /E ¹⁰	E _c /E [*] (e ₁)	E _i /E [*]	E _c /E _p (e ₁ [*])	E _i /E _p	E _i /E _c (e ₂)
			M ⁴	DP ⁵	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP						
1	5	10,8	0,87	0,07	3,83	0,16	554,0	47,5	478,2	40,5	429,6	63,4	1,16	1,00	0,90	0,86	0,78	0,90
2	2	11,8	0,71	0,07	3,53	-	451,9	41,5	405,7	-	366,7	65,2	0,94	0,85	0,77	0,90	0,81	0,90
3	8	12,8	0,77	0,06	3,61	0,08	492,8	35,9	423,9	18,6	382,1	27,1	1,03	0,89	0,80	0,86	0,78	0,90
4	15	13,8	0,87	0,06	4,02	0,15	553,4	37,8	525,8	40,0	493,5	34,3	1,16	1,10	1,03	0,95	0,89	0,94
5	3	14,8	0,69	0,05	3,41	0,27	437,4	32,8	380,2	60,7	328,6	41,8	0,91	0,80	0,69	0,87	0,75	0,86
6	4	16,8	0,67	0,03	3,38	0,03	429,1	20,0	371,6	5,9	318,1	22,7	0,90	0,78	0,67	0,87	0,74	0,86
7	18	20,7	0,69	0,03	3,67	0,09	441,1	18,4	436,9	21,7	411,4	18,4	0,92	0,91	0,86	0,99	0,93	0,94
8	19	21,8	0,83	0,06	3,75	0,14	529,4	39,0	458,0	33,5	431,5	18,1	1,11	0,96	0,90	0,87	0,82	0,94
9	26	22,8	0,86	0,08	3,93	0,18	547,3	47,9	502,9	46,1	447,1	35,4	1,14	1,05	0,93	0,92	0,82	0,89
10	41	23,8	0,78	0,05	3,68	0,11	497,8	29,1	441,3	25,5	409,6	22,6	1,04	0,92	0,86	0,89	0,82	0,93

Tabela 2. Energias medidas nos ensaios da Sondagem 2.

Sequência	N ¹	L ² (m)	h _q ³ (m)		v _i ⁶ (m/s)		E _p ⁷ (J)		E _c ⁸ (J)		E _i ⁹ (J)		E _p /E ¹⁰	E _c /E [*] (e ₁)	E _i /E [*]	E _c /E _p (e ₁ [*])	E _i /E _p	E _i /E _c (e ₂)
			M ⁴	DP ⁵	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP						
1	7	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	451,7	29,7	-	-	0,94	-	-	-
2	8	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	449,3	34,2	-	-	0,94	-	-	-
3	5	14,7	-	-	-	-	-	-	-	-	472,2	42,7	-	-	0,99	-	-	-
4	5	15,7	0,75	0,04	3,69	0,12	477,4	28,2	442,5	29,5	408,1	15,1	1,00	0,93	0,85	0,93	0,85	0,92
5	11	16,7	0,78	0,06	3,78	0,16	497,9	41,1	466,2	39,2	463,9	31,2	1,04	0,97	0,97	0,94	0,93	0,99
6	9	17,7	0,85	0,13	3,92	0,27	541,2	80,8	501,8	68,0	551,4	15,0	1,13	1,05	1,15	0,93	-	-
7	7	18,7	0,74	0,05	3,71	0,12	471,2	32,3	448,2	28,1	427,2	19,6	0,99	0,94	0,89	0,95	0,91	0,95
8	15	19,7	0,78	0,06	3,78	0,16	496,5	39,3	465,1	38,8	445,5	41,7	1,04	0,97	0,93	0,94	0,90	0,96
9	5	20,7	0,74	0,01	3,64	0,08	470,4	8,8	430,3	18,2	481,8	44,9	0,98	0,90	1,01	0,91	-	-
10	16	21,7	0,80	0,06	3,86	0,14	512,4	39,3	484,9	35,5	465,9	28,4	1,07	1,01	0,97	0,95	0,91	0,96
11	25	22,7	0,87	0,06	3,98	0,12	553,0	36,5	516,2	32,1	482,2	35,6	1,16	1,08	1,01	0,93	0,87	0,93
12	46	23,7	0,75	0,07	3,70	0,18	475,8	41,7	446,5	43,3	445,6	42,2	1,00	0,93	0,93	0,94	0,94	1,00
13	51	24,7	0,72	0,04	3,67	0,11	457,8	22,7	438,9	26,7	441,0	18,1	0,96	0,92	0,92	0,96	0,96	1,00
14	28	25,7	0,69	0,04	3,57	0,09	440,8	22,8	414,3	21,4	403,5	26,8	0,92	0,87	0,84	0,94	0,92	0,97

¹N = número de golpes contabilizados pelo SPT Analyzer para a penetração de 45 cm do amostrador;

²L = comprimento da composição de hastes, incluindo o comprimento do amostrador (m);

³h_q = altura de queda do martelo SPT

⁴M = média;

⁵DP = desvio padrão;

⁶v_i = velocidade de impacto do martelo SPT;

⁷E_p = energia potencial real do martelo SPT no momento da soltura;

⁸E_c = energia cinética do martelo SPT na iminência do impacto;

⁹E_i = energia medida no topo da composição de hastes;

¹⁰E^{*} = energia potencial teórica do martelo SPT do sistema brasileiro (478,2 J).

Em alguns golpes pertencentes às sequências 6 e 9 da Sondagem 2 não foi possível medir energia no topo da composição de hastes. Em outros golpes das mesmas sequências, por problemas no vídeo, não foi possível medir altura de queda ou velocidade de impacto. Desse modo, apenas num número reduzido de golpes das duas sequências mediu-se energia no topo da composição de hastes, altura de queda e velocidade de impacto conjuntamente. Soma-se a esse problema a significativa dispersão nas alturas de queda dos golpes dessas sequências. Em função disso, não foi possível estabelecer valores confiáveis das relações E_i/E_p e E_i/E_c para as sequências 6 e 9 da Sondagem 2.

As Figuras 5 e 6 mostram os percentuais de golpes aplicados em diferentes faixas de alturas nas Sondagens 1 e 2, respectivamente.

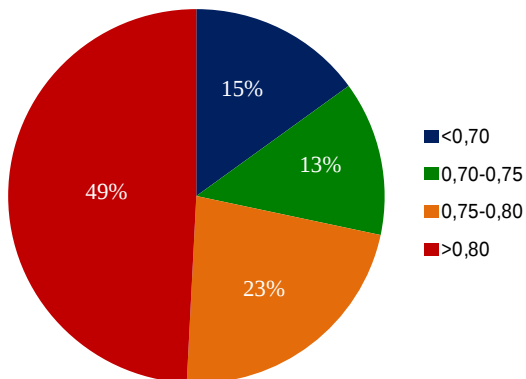


Figura 5. Percentuais de golpes aplicados em diferentes faixas de altura na Sondagem 1.

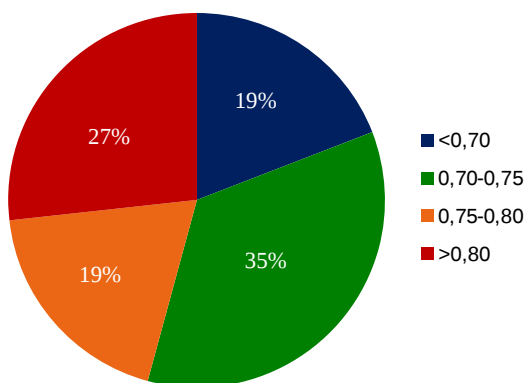


Figura 6. Percentuais de golpes aplicados em diferentes faixas de altura na Sondagem 2.

A altura de queda média das sequências da Sondagem 1 variou de 67 a 87 cm, com energias potenciais de soltura variando de 429,1 a 554,0 J, diferença de 29%. Em 64% dos golpes o

martelo foi erguido a alturas superiores a 80 cm ou alturas inferiores a 70 cm (diferença superior a 5 cm da altura prescrita na NBR-6484/2001). Vale ressaltar o elevado desvio padrão da altura de queda observado em algumas sequências, chegando a 8 cm. A altura de queda média de todos os golpes analisados é de 80 cm, com desvio padrão de 9 cm, ver Tabela 1 e Figura 5.

Na Sondagem 2 a dispersão nas medidas de altura de queda foi, de uma maneira geral, um pouco menor. A altura de queda média das sequências variou de 69 a 87 cm, com energias potenciais variando de 440,8 a 553,0 J, diferença de 25%. Em 46% dos golpes o martelo foi erguido a alturas superiores a 80 cm ou inferiores a 70 cm. Numa das sequências o desvio padrão da altura de queda chegou a 13 cm. A altura de queda média de todos os golpes é de 76 cm, com desvio padrão de 8 cm, ver Tabela 2 e Figura 6.

Um aspecto que merece destaque é a diferença na altura de queda média observada nas Sondagens 1 e 2 (80 e 76 cm, respectivamente), que foram realizadas pela mesma equipe, utilizando os mesmos equipamentos e no mesmo local, ou seja, as duas sondagens foram realizadas em condições semelhantes. Cabe ressaltar que ao longo do monitoramento não foi feita qualquer interferência no trabalho das equipes de sondagem.

Outros dois pontos merecem especial atenção: i) a significativa variação na altura de queda dos golpes de uma mesma sequência; ii) a significativa variação na altura de queda média de diferentes sequências.

A velocidade média de impacto do martelo variou de 3,38 a 4,02 m/s (energias cinéticas de 371,6 e 525,8 J, respectivamente) nas sequências da Sondagem 1, e nas sequências da Sondagem 2 de 3,57 a 3,98 m/s (energias cinéticas de 414,3 e 516,2 J, respectivamente), ver Tabelas 1 e 2. Essa significativa variação na energia cinética de impacto é consequência de problemas no controle da altura de queda.

O fator de eficiência e_1 (E_c/E^*), definido por Décourt (1989), variou na Sondagem 1 de 0,78 a 1,10 e na Sondagem 2 de 0,87 a 1,08. Esses valores são superiores aos encontrados por Cavalcante et al. (2011) e variam numa faixa

mais ampla que os apresentados por Décourt (1989), ver Figura 7. Cabe lembrar que nos dados analisados por Décourt (1989) e Cavalcante et al. (2011) a altura de queda não variou tanto quanto nos ensaios apresentados no presente trabalho (ver Tabelas 1 e 2).

É importante salientar que valores de e_1 maiores que 1,00 são explicados pela altura de queda significativamente acima da altura padrão em diversas sequências.

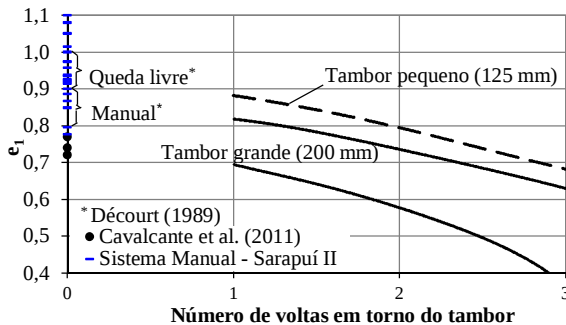


Figura 7. Valores do fator e_1 (adaptado de Skempton, 1986, Décourt, 1989 e Cavalcante et al., 2011).

A fim de evitar a influência da altura de queda na análise da energia perdida durante a descida do martelo, Santana et al. (2012) propuseram a utilização do fator e_1^* , dado por E_c/E_p . Os valores de e_1^* variaram na Sondagem 1 de 0,86 a 0,99 e na Sondagem 2 de 0,91 a 0,96, ficando, em grande parte, acima dos apresentados por Décourt para o sistema manual de levantamento e soltura, mas variando numa faixa menos ampla que os valores de e_1 , ver Figura 8.

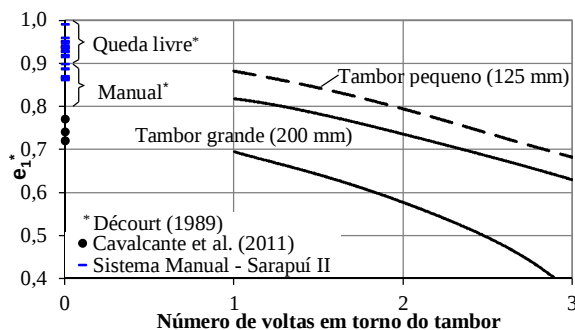


Figura 8. Valores do fator e_1^* (adaptado de Skempton, 1986, Décourt, 1989 e Cavalcante et al., 2011).

Na Sondagem 1 a energia média medida no topo da composição de hastes, E_i (logo abaixo da cabeça de bater), variou de 318,1 J

(eficiência de 67% em relação à energia potencial teórica ou nominal) a 493,5 J (eficiência de 103%). Na Sondagem 2 a energia média no topo da composição de hastes variou de 403,5 J (eficiência de 84%) a 551,4 J (eficiência de 115%).

Essa significativa dispersão nos valores de E_i é consequência, principalmente, da grande variação na altura de queda do martelo SPT, demonstrando a necessidade de revisão nas atuais práticas de controle de altura de queda dos ensaios brasileiros.

Os resultados demonstram que mesmo ensaios SPT realizados pela mesma equipe de sondagem, em condições semelhantes, podem conduzir a valores de N_{SPT} com significados distintos, em função, principalmente, da significativa diferença na energia transferida à composição de hastes. É provável que esse aspecto se agrave quando são comparadas equipes que utilizam práticas e equipamentos diferentes.

Quando a eficiência da energia no topo da composição de hastes é calculada em relação à energia potencial real, medida, varia numa faixa significativamente menor, de 74% a 93% na Sondagem 1, e de 85% a 96% na Sondagem 2, ver Tabelas 1 e 2.

O fator de eficiência e_2 (E_i/E_c) variou na Sondagem 1 de 0,86 a 0,94 e na Sondagem 2 de 0,92 a 1,00. Esses valores estão entre a linha média dos apresentados por Décourt (1989) e os encontrados por Cavalcante et al. (2011), considerando a massa da cabeça de bater de 977 g, ver Tabelas 1 e 2 e Figura 9.

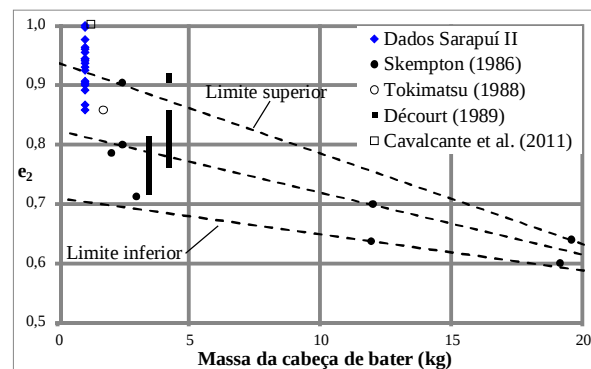


Figura 9. Fator e_2 em função da massa da cabeça de bater (adaptado de Décourt, 1989 e Cavalcante et al., 2011).

É possível que altos valores do fator e_2

estejam associados à descida da composição de hastes durante o impacto do martelo, o que gera um acréscimo de energia potencial, que é transferida às hastes nos impactos subsequentes do martelo no mesmo golpe. Esse fenômeno, que foi descrito por Odebrecht (2003), é mais importante em solos de baixa resistência. O SPT Analyzer é capaz de medir toda a energia transferida à composição de hastes, desde que o processo ocorra em até 102 ms. No entanto, a energia cinética é calculada em relação ao primeiro impacto do martelo com a cabeça de bater, o que pode superestimar valores de e_2 em caso de outros impactos.

5 CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente trabalho são:

- A altura de queda média das sequências da Sondagem 1 variou de 67 a 87 cm, com energias potenciais de soltura variando de 429,1 a 554,0 J, diferença de 29%. Em 64% dos golpes o martelo foi erguido a alturas superiores a 80 cm ou inferiores a 70 cm.
- Na Sondagem 2 a altura de queda média das sequências variou de 69 a 87 cm, com energias potenciais variando de 440,8 a 553,0 J, diferença de 25%. Em 46% dos golpes o martelo foi erguido a alturas superiores a 80 cm ou inferiores a 70 cm.
- Foi verificada significativa diferença na altura de queda média nas Sondagens 1 e 2 (80 e 76 cm, respectivamente), sendo que as duas sondagens foram realizadas pela mesma equipe, utilizando os mesmos equipamentos e no mesmo local, ou seja, foram realizadas em condições semelhantes.
- O fator de eficiência e_1 (E_c/E^*) variou nas Sondagens 1 e 2 de 0,78 a 1,10. Esses valores são superiores aos encontrados por Cavalcante et al. (2011) e variam numa faixa mais ampla que os apresentados por Décourt (1989).
- Os valores de e_1^* variaram nas Sondagens 1 e 2 de 0,86 a 0,99, ficando, em grande parte, acima dos apresentados por Décourt para o sistema manual de levantamento e soltura, mas variando numa faixa menos ampla que os valores de e_1 .

- Na Sondagem 1 a energia média medida no topo da composição de hastes, E_i , variou de 318,1 J (eficiência de 67% em relação à energia potencial teórica) a 493,5 J (eficiência de 103%). Na Sondagem 2 a energia média no topo da composição de hastes variou de 403,5 J (eficiência de 84%) a 551,4 J (eficiência de 115%).
- Essa significativa dispersão nos valores de E_i é consequência, principalmente, da grande variação na altura de queda do martelo SPT, demonstrando a necessidade de revisão nas atuais práticas de controle de altura de queda dos ensaios brasileiros.
- Além disso, os resultados demonstram que mesmo ensaios SPT realizados pela mesma equipe de sondagem, em condições semelhantes, podem conduzir a valores de N_{SPT} com significados distintos, em função, principalmente, da significativa diferença na energia transferida à composição de hastes. É provável que esse aspecto se agrave quando são comparadas equipes que utilizam práticas e equipamentos diferentes.
- Quando a eficiência da energia no topo da composição de hastes é calculada em relação à energia potencial medida, varia numa faixa significativamente menor, de 74% a 93% na Sondagem 1, e de 85% a 96% na Sondagem 2.
- O fator de eficiência e_2 (E_i/E_c) variou nas Sondagens 1 e 2 de 0,86 a 1,00. Esses valores estão entre a linha média dos apresentados por Décourt (1989) e os encontrados por Cavalcante et al. (2011), para uma cabeça de bater de 977 g.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2001) *Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio*. NBR 6484.
- Abou-Matar, H. e Goble, G.G. (1997) SPT Dynamics Analysis and Measurements. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, v. 123:10, p. 921-928.
- Belincanta, A. (1998) *Avaliação de Fatores Intervenientes no Índice de Resistência à Penetração do SPT*, Tese de Doutorado, EESC/USP.
- Belincanta, A. e Cintra, J.C.A. (1998) Fatores Intervenientes em Variantes do Método ABNT para Execução do SPT, *Revista Solos e Rochas*, ABMS,

- vol. 21, n. 3, p. 119-133.
- Broms, B.B. e Flodin, N. (1988) History of Soil Penetration Testing. Penetration Testing, *ISOPT-1*, J. De Ruiter Ed., Orlando, p. 178-186.
- Campanella, R.G. e Sy, A. (1994) Recent Developments in Energy Calibration of Penetration Tests at UBC. *Proc. XII Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng.*, New Delhi, p. 151-156.
- Cavalcante, E.H. (2002) *Investigação Teórica - Experimental Sobre o SPT*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Cavalcante, E.H., Danziger, B.R. e Danziger, F.A.B. (2011) Measurement of Drop Height and Impact Velocity in the Brazilian SPT System. *Soils and Rocks*, v. 34:3, p. 207-218.
- Clayton, C.R.I. (1990) SPT Energy Transmission: Theory, Measurement and Significance. *Ground Engineering*, v. 23:10, p. 35-43.
- Daniel, C.R., Howie, J.A., Jackson, R.S. e Walker, B. (2005) Review of Standard Penetration Test Short Rod Corrections. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, v. 131:4, p. 489-497.
- Danziger, F.A.B., Danziger, B.R. e Cavalcante, E.H. (2006) Discussion of Review of Standard Penetration Test Short Rod Corrections, by Chris R. Daniel, John A. Howie, R. Scott Jackson, e Brian Walker. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, v. 132:12, p. 1634-1637.
- Décourt, L. (1989) General report / Discussion Session 2: SPT, CPT, Pressuremeter Testing and Recent Developments in In-Situ Testing – Part 2: The Standard Penetration Test, State-of-the-Art Report. *Proc. XII Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng.*, Rio de Janeiro, v. 4, p. 2405-2416.
- Décourt, L., Muromachi, T., Nixon, I. K., Schmertmann, J. H., Thorburn, S. e Zolkov, E. (1988) Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure. *Proc. ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing – SPT Working Party*, ISOPT-1, Orlando, v.1, p. 3-26.
- De Mello, V.F.B. (1971) Standard Penetration Test. *Proc. 4th Pan-American Conf. on Soil Mech. Found. Eng.*, Puerto Rico, v. 1, p. 1-86.
- Fujita, K. e Ohno, M. (2000) Stress Wave Application to Standard Penetration Test in Japan. *Proc. 6th Int. Conf. on the Application of Stress-Wave Theory to Piles*, São Paulo, v. 1, p. 469-475.
- Ireland, H.O., Moretto, O. e Vargas, M. (1970) The Dynamic Penetration Test: A Standard that is not Standardized. *Géotechnique*, v. 20:2, p. 185-192.
- ISSMFE (1989) *Report of the ISSMFE – Technical Committee on Penetration Testing of Soils – TC 16 With Reference Test Procedures – CPT – SPT – DP – WST. International Reference Test Procedure for the Standard Penetration Test (SPT)*, p. 17-19.
- Kovacs, W.D. (1979) Velocity Measurement of Free-Fall SPT Hammer. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, v. 105:GT1, p. 1-10.
- Kovacs, W. D. (1980) What Constitutes a Turn? *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, v. 3:3, p. 127-130.
- Kovacs, W.D. (1994) Effects of SPT Equipment and Procedures on the Design of Shallow Foundations on Sand. *Proc. Settlement'94*, ASCE, New York, v. 1, p. 121-131.
- Kovacs, W.D., Evans, J.C. e Griffith, A.H. (1977) Towards a More Standardized SPT. *Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng.*, Tokyo, v. 2, p. 269-276.
- Kovacs, W.D., Griffith, A.W. e Evans, J.C. (1978) An Alternative to the Cathead and Rope for the Standard Penetration Test. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, v. 1:2, p. 72-81.
- Kovacs, W.D. e Salomone, L.A. (1982) SPT Hammer Energy Measurement. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, v. 108:GT4, p. 599-620.
- Matsumoto, T., Sikigushi, H. e Yoshida, H. (1992) Significance of Two Point Strain Measurement in SPT. *Soils and Foundations*, v. 32:2, p. 67-82.
- Morgano, C.M. e Liang, R. (1992) Energy Transfer in SPT – Rod Length Effect. *Proc. 4th Int. Conf. on the Application of Stress-Wave Theory to Piles*, Netherlands, v. 1, p. 121-127.
- Odebrecht, E. (2003) *Medição de Energia no SPT*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 230 p.
- Palacios, A. (1977) *Theory and Measurements of Energy Transfer During Standard Penetration Test Sampling*. Ph.D. Thesis, University of Florida, USA, 391 p.
- Santana, C.M., Danziger, F.A.B. e Danziger, B.R. (2012) The measurement of Energy Reaching the Sampler in SPT. *Proc. 4th Int. Conf. on Site Characterization*, ISC-4, Porto de Galinhas, v. 1, p. 921-926.
- Santana, C.M., Danziger, F.A.B. e Danziger, B.R. (2014) Energy Measurement in the Brazilian SPT System. *Soils and Rocks*, v. 37:3, p. 243-255.
- Schmertmann, J.H. e Palacios, A. (1979) Energy Dynamics of SPT. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, v. 105:8, p. 909-926.
- Serota, S. e Lowther, G. (1973) SPT Practice Meets Critical Review. *Ground Engineering*, v. 6:1, p. 20-22.
- Skempton, A.W. (1986) Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation. *Géotechnique*, v. 36:3, p. 425-447.
- Tokimatsu, K. (1988) Penetration Tests for Dynamic Problems. *ISOPT-1, J. De Ruiter Ed.*, Orlando, p. 117-136.
- Youd, T.L., Bartholomew, H.W. e Steidl, J.H. (2008) SPT Hammer Energy Ratio vs. Drop Height. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, v. 134:3, p. 397-400.